

Capacidad de Medición

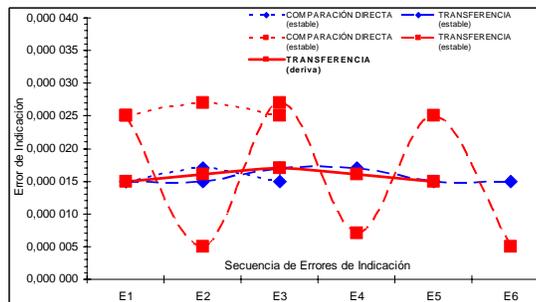
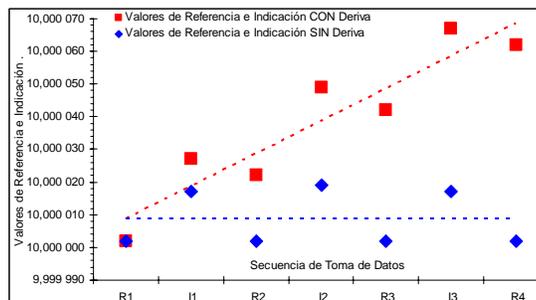
En esta oportunidad presentamos un artículo presentado por MetAs, como ponencia en la **IV Reunión de Laboratorios de Metrología del SIMCFE** (Sistema Institucional de Metrología de la CFE), llevado a cabo en Irapuato Guanajuato, México, los días 15, 16 y 17 de febrero del 2006.

Este congreso fue organizado por el Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPEM) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La Guía MetAs, el boletín periódico de MetAs & Metrologos Asociados, fue invitada a participar con esta ponencia por el Laboratorio de Metrología de LAPEM, a través de su Jefe de Oficina Sergio Ochoa Márquez, a quien por este medio agradecemos su invitación.

En el artículo se presentan diferentes temas relacionados con la determinación y aplicación del concepto *Mejor Capacidad de Medición* (MCM), como son:

- a) Métodos de medición y calibración,
- b) La definición de mejor capacidad de medición para proceso industriales, laboratorios de referencia (secundarios) e institutos nacionales de metrología,
- c) Fuentes de incertidumbre para evaluar la mejor capacidad de medición,
- d) Evaluación de trazabilidad, mediante los métodos: TAR relación de exactitud y TUR relación de incertidumbres.



Somos su Relevo a la Calidad

La Guía MetAs, es el boletín periódico de MetAs & Metrologos Asociados.

En La Guía MetAs se presentan noticias de la metrología, artículos e información técnica seleccionada por los colaboradores de MetAs & Metrologos Asociados, que deseamos compartir con nuestros colegas, usuarios, clientes, amigos y con todos aquellos relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro
 49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México
 Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 & 4 14 69 12 con tres líneas
 E-mail: laguiametas@metas.com.mx. Web: www.metas.com.mx

Servicios Metrologicos:

Laboratorios de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica y Vibraciones

Ingeniería:

Selección de Instrumentos, Desarrollo de Sistemas de Medición y Software, Reparación-Mantenimiento

Gestión Metrologica:

Subcontratación de Servicios, Outsourcing, Selección de Proveedores, Confirmación Metrologica

Centro de Consultoría:

Capacitación, Entrenamiento, Asesoría, Auditorías, Ensayos de Aptitud, Sistemas de Calidad

MÉTODOS DE CALIBRACIÓN Y MEJOR CAPACIDAD DE MEDICIÓN

Impacto en el Riesgo de Trazabilidad dentro del Proceso de Confirmación Metrológica

Aranda Contreras, Víctor Manuel

MetAs & Metrólogos Asociados. Calle Jalisco # 313, C.P. 49000, Cd. Guzmán,
Zapotlán El Grande, Jalisco, México. E-mail: victor.aranda@metas.com.mx

Resumen: El concepto *Mejor Capacidad de Medición* (MCM) utilizado por la comunidad de acreditación o su concepto casi equivalente *Capacidad de Medición y Calibración* (CMC) utilizado por los institutos nacionales de metrología; estos conceptos hacen énfasis en como la confiabilidad de las mediciones, depende de diferentes factores; destacando el método de medición o método de calibración utilizado. Se indican los principales métodos de medición y calibración utilizados por los laboratorios de metrología de referencia o industriales y como es que estos métodos pueden limitar la MCM o CMC de un laboratorio de metrología (entendiendo por laboratorios de metrología laboratorios de calibración y prueba). Mostrando la relación entre la MCM de un laboratorio y el impacto en el riesgo de trazabilidad dentro del proceso de confirmación metrológica.

Métodos de medición y calibración

En la norma ISO/IEC 17025 (2005) (Requisitos generales para la competencia de laboratorios de calibración y prueba) encontramos una clasificación de los métodos de calibración y prueba en función del origen y desarrollo de los mismos, en el cuadro 1 se muestra un resumen de los mismos.

Origen del método	Característica
Normalizados	Publicados por: normas internacionales, regionales o nacionales, organizaciones técnicas, revistas o libros científicos, fabricante del equipo.
Internos	Desarrollados y validados por el propio laboratorio.
No normalizados	Acordados con el cliente, o consideraciones no cubiertas por métodos normalizados.

Cuadro 1. Clasificación de métodos en términos de su origen.

Debemos no solo limitarnos al considerar el origen documental o de desarrollo de los métodos tal como los clasifica la norma internacional ISO/IEC 17025 (2005), sino que debemos considerar el principio o base científica del método, esto no lleva a listar en el cuadro 2 diferentes métodos de medición y calibración. Los métodos de calibración y prueba se derivan de los métodos de medición definidos por el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) (Nava et al. 2001).

Métodos de Medición	Método de Calibración	Observaciones
Directa	Comparación directa	El mas común
Indirecta	Comparación indirecta	
Sustitución (transferencia)	Sustitución	Calibración de pesas
	Transferencia	
Diferencial	Diferencial	
Nulo o cero	Equilibrio	Calibración de balanzas de presión
Relación	Relación	
	Escalamiento (subdivisión)	
Características Generales del Método de Medición	Características adicionales al Método de Calibración	Observaciones
Primario	Primario	El equipo es calibrado por método primario, contra patrones de las magnitudes del modelo o constante físicas
Primario ó Secundario	Secundario	El equipo es calibrado por método secundario, contra un patrón de la misma magnitud
Indicación (no medición)	Simulación	El patrón simula la magnitud, no la reproduce
	Reproducción	El patrón reproduce la magnitud
	Puntos fijos (primarios y secundarios)	El patrón es la reproducción de un fenómeno o constante física

Cuadro 2. Diferentes métodos de medición y calibración y su relación.

Independientemente de conocer e informar claramente que método de medición o calibración utilizamos en nuestros servicios de acuerdo a los requisitos de ISO/IEC 17025 (2005), debemos conocer la confiabilidad, complejidad, cálculos y robustez del mismo, una evaluación cualitativa parece indicarnos que por ejemplo el método de calibración por transferencia es más complejo que el método de calibración por comparación directa, sin embargo no tenemos un garantía de que sea más confiable.

En la figura 1, mostramos un resumen comparativo con la evaluación del error de ajuste (trueness, bias, offset, sesgo o veracidad) y la repetibilidad-reproducibilidad (precisión) de los métodos de comparación directa y comparación por transferencia y como es que estos pueden ser afectados o no afectados por la deriva a corto plazo de la referencia y una visualización de la robustez de estos métodos para tomar en cuenta este efecto.

Método	Sistema Estable en el Tiempo							Error de Ajuste	Repetibilidad	
Sin Deriva	Referencia R1 (inicial)	Indicación I1	Referencia R2	Indicación I2	Referencia R3	Indicación Ij	Referencia R j+1 (final)			
	10,000 002	10,000 015	10,000 003	10,000 016	10,000 001	10,000 014	10,000 002	Bias	r	
Errores Sistema Estable Comparación Directa	E1 E2 E3							Promedio (3-Ei)	2 Desv.Est. (3-Ei)	
	0,000013 0,000 013 0,000 013							0,000 013	0,000 000	
Errores Sistema Estable Transferecia	E1 E2 E3 E4 E5 E6							Promedio (6-Ei)	2 Desv.Est. (6-Ei)	
	0,000 013 0,000 012 0,000 013 0,000 015 0,000 013 0,000 012							0,000 013	0,000 002	
Método	Sistema con Deriva a Corto Plazo							Error de Ajuste	Repetibilidad	
Con Deriva	0	1	2	3	4	5	6			
	0,000 010	10,000 002	10,000 025	10,000 023	10,000 046	10,000 041	10,000 064	10,000 062	Bias	r
Errores Sistema con Deriva Comparación Directa	E1 E2 E3							Promedio (3-Ei)	2 Desv.Est. (3-Ei)	
	0,000023 0,000 023 0,000 023							0,000 023	0,000 000	
Errores Sistema con Deriva Transferecia evaluado como Estable	E1 E2 E3 E4 E5 E6							Promedio (6-Ei)	2 Desv.Est. (6-Ei)	
	0,000 023 0,000 002 0,000 023 0,000 005 0,000 023 0,000 002							0,000 013	0,000 022	
Errores Sistema con Deriva Transferecia	E1 E2 E3 E4 E5							Promedio (5-Ei)	2 Desv.Est. (5-Ei)	
	0,000 012 0,000 013 0,000 014 0,000 014 0,000 013							0,000 013	0,000 002	

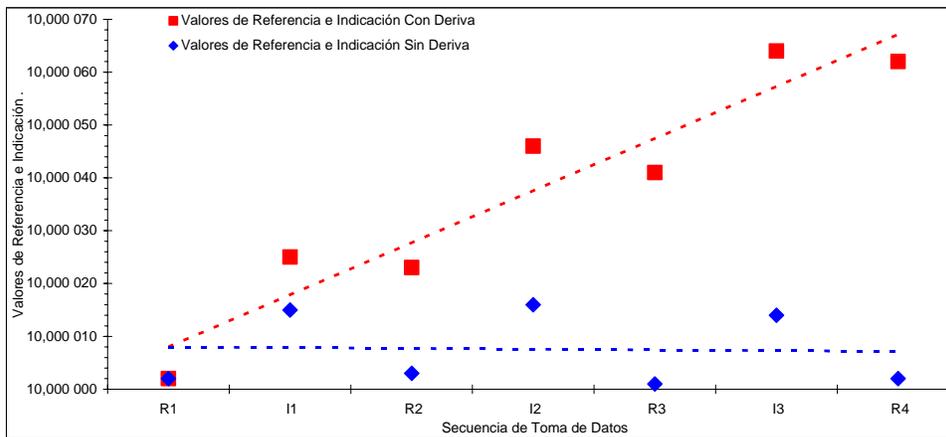
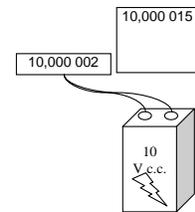
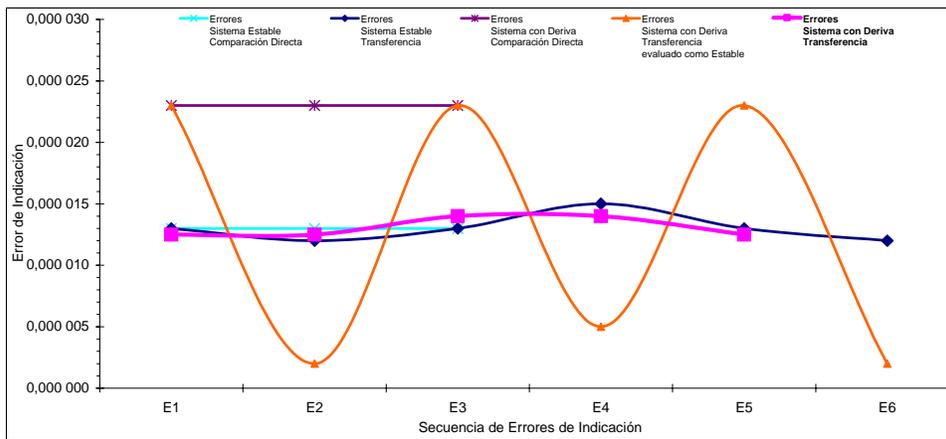


Figura 1. Comparación de métodos de calibración.

Mejor capacidad de medición y calibración

Podemos encontrar el concepto de (mejor) capacidad de medición en diferentes referencias. A nivel industrial lo encontramos documentados en la norma ISO 10012 (2003) la cual nos dice que la incertidumbre de medición del proceso de medición (la capacidad de medición instalada en el proceso) depende de dos grandes factores: 1) Las características metrológicas del equipo (errores, correcciones, linealidad, incertidumbre, deriva) y de 2) El proceso de medición del usuario (trazabilidad, transporte, correcciones aplicadas y no aplicadas, instalación, ambiente, métodos, personal).

A nivel de laboratorios de calibración y prueba, se maneja el concepto Mejor Capacidad de Medición (MCM) (BMC, Best Measurement Capability) el cual ha sido desarrollado por organismos como ILAC-EA-EMA, miembros de la comunidad de acreditación, este concepto (ILAC-G4; EA-4/02; EMA-MP-CA001-02) se define como:

“La incertidumbre de medición más pequeña que un laboratorio puede lograr dentro del alcance de su acreditamiento, cuando realiza calibraciones más o menos rutinarias de: patrones de medición casi ideales propuestos para definir, materializar, conservar o reproducir una unidad de la magnitud o uno o más de sus valores; o cuando realiza calibraciones más o menos rutinarias de instrumentos de medición casi ideales diseñados para la medición de la magnitud.”

A nivel de institutos nacionales de metrología (INM) se utiliza el concepto *capacidad de medición y calibración* (CMC, Calibration and Measurement Capability) el cual ha sido desarrollado por organismos como el BIPM-CIPM-MRA-NMI (JCRB-8/18), este concepto se define como:

“La CMC es la mejor capacidad de medición que ordinariamente esta disponible a los usuarios bajo condiciones normales, por ejemplo, tal como se publica en la lista de servicios de un INM y disponible, en principio, en cualquier momento, esta deberá ser:*

- 1. Llevada a cabo de acuerdo a un procedimiento documentado y un presupuesto de incertidumbres establecido bajo el sistema de calidad del INM;*
- 2. Llevado a cabo en forma regular; y*
- 3. Disponible para todos los clientes.*

... algunas veces referido como mejor capacidad de medición.

**No se considera la capacidad del INM para medir el mejor de los instrumentos.”*

El BIPM a través de la ILAC a indicado que: *“es un fuerte apoyo que la comunidad de acreditación deba utilizar el término CMC en lugar de BMC ... dado que da una mejor interpretación de las calibraciones del día a día de un laboratorio.”*

La mejor capacidad de medición y calibración de un laboratorio de metrología depende de diferentes fuentes de incertidumbre (variables de influencia), siendo las principales las mostrado gráficamente en la figura 2 y en forma tabular en el cuadro 3.

El término CMC implica que los laboratorios pueden hacer mejores mediciones que las formalmente declaradas o acreditadas, lo cual permite mayor confianza en los laboratorios. CMC es la mejor capacidad de un INM para proveer trazabilidad al SI dentro de marco de los acuerdos de reconocimiento mutuo (MRA) acordados con el comité internacional de pesas y medidas (CIPM)

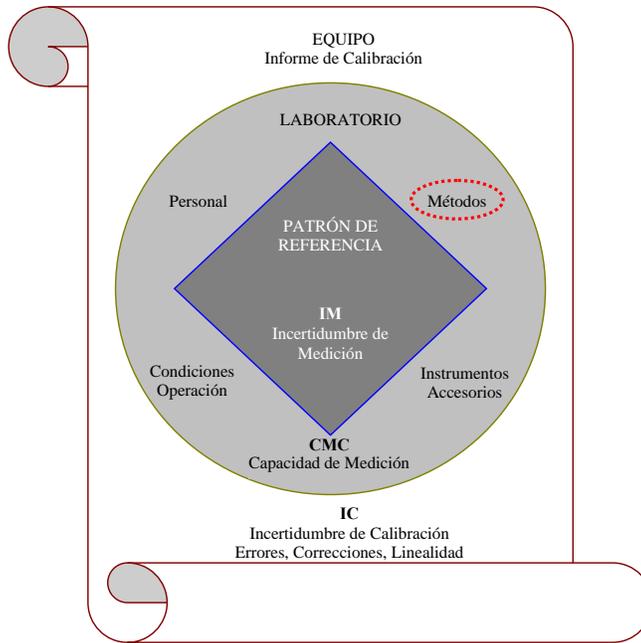


Figura 2. De la incertidumbre a la mejor capacidad de medición.

Incertidumbre Equipo	Incertidumbre Sistemas	Fuentes de Incertidumbre Individuales	
Capacidad de Medición del Usuario	Capacidad de Medición del Laboratorio	Patrón	Trazabilidad (certificado(s))
			Verificaciones (transporte)
			Correcciones (modelo)
			Deriva (tiempo)
		Estabilidad	
		Laboratorio	Método (exactitud)
			Método (r&R)
			Condiciones de operación (ambientales, montaje, conexión, configuración)
	Personal (competencia)		
	Equipo	Equipo	Resolución
			Movilidad (sensibilidad)
			Repetibilidad
			Reproducibilidad (cero, histéresis, montaje, conexiones, configuración)
			Transporte (verificaciones)
Correcciones (modelo)			
Usuario (no consideradas por el laboratorio)	Usuario (no consideradas por el laboratorio)	Deriva (tiempo)	
		Estabilidad	
		Método (exactitud)	
		Método (r&R)	
		Condiciones de operación (ambientales, montaje, conexión, configuración, resolución)	
		Personal (competencia)	

Cuadro 3. De la incertidumbre a la mejor capacidad de medición.

Evaluación de trazabilidad

La evaluación de la trazabilidad no esta limitada a una evaluación puramente documental, sino que debemos realizar una evaluación objetiva en base a números. Una evaluación clásica del factor de riesgo en la trazabilidad es la llamada relación de exactitud (TAR, Traceability Accuracy Ratio) la cual de acuerdo con la norma ISO 10012-1 (1992) implicaba una relación mínima de tres a uno (3:1) e idealmente mayor a diez (10:1).

$$\text{TAR} = \text{Exactitud del Equipo/Exactitud del Patrón} \geq 3 \quad \text{Ecuación 1}$$

Considerando las incertidumbres de medición en lugar de la exactitud podemos evaluar el factor de riesgo en la trazabilidad con la llamada relación de incertidumbres (TUR, Traceability Uncertainty Ratio) el cual es un concepto más adecuado para la evaluación del riesgo de trazabilidad en laboratorios de metrología, el cual implica una relación mínima de diez a uno (10:1), lo cual implica un factor de riesgo del 10 %.

$$\text{TUR} = (\text{Incertidumbre del Equipo})^2 / (\text{Incertidumbre del Patrón})^2 \geq 10 \quad \text{Ecuación 2}$$

El concepto capacidad de medición sigue siendo una incertidumbre por lo tanto debemos evaluar factor de riesgo de la trazabilidad de acuerdo con el método cuadrático TUR y no el método lineal de TAR.

$$\text{TUR} = (\text{CM del Usuario})^2 / (\text{CM del Laboratorio})^2 \geq 10 \quad \text{Ecuación 3}$$

Proceso de confirmación metrológica

Dentro del proceso de confirmación metrológica, es necesario que además de la calibración del equipo realizada normalmente por un laboratorio de tercera parte, se lleve a cabo el proceso de verificación metrológica por parte del usuario del equipo, lo cual implica conocer tanto 1) la *capacidad de medición instalada* (CMI) como 2) la *capacidad de medición requerida* (CMR). Obviamente la capacidad de medición instalada se conoce conjugando las características metrológicas del equipo conocidas a través del proceso de calibración más el proceso de medición desarrollado por el usuario.

$$\text{CMI} = \text{Características Metrológicas} + \text{Proceso de Medición} \quad \text{Ecuación 4}$$

La verificación metrológica implica evaluar la conformidad de la capacidad de medición instalada con respecto a la capacidad de medición requerida.

$$\text{CMI} \leq \text{CMR} \quad \text{Ecuación 5}$$

La verificación metrológica también contempla evaluar el índice de consistencia metrológica (IC) de la capacidad de medición instalada con respecto a la capacidad de medición requerida, lo cual es un requisito de los sistemas de calidad como el ISO 9001 (2000) en el control de equipo de monitoreo y medición.

$$\text{IC} = \text{CMI/CMR} \approx 1 \quad \text{Ecuación 6}$$

Conclusiones

El método de comparación directa es el más común y conocido de los métodos de calibración, pero no necesariamente el más confiable a realizar calibraciones de alta exactitud.

Debemos identificar y caracterizar el método de medición o calibración que estamos utilizando para conocer si es adecuado para la capacidad de medición esperada de nuestro sistema.

No olvidemos que no es suficiente contar con un buen instrumento de medición o medida materializada como patrón de referencia, debemos utilizarlo de la forma más adecuada para obtener de él la mejor confiabilidad y la mejor capacidad de medición, lo cual implica seleccionar objetivamente el método de medición y calibración más conveniente.

La evaluación de la veracidad (trueness) y precisión de los métodos de medición y calibración nos permite elegir entre un método u otro.

La confiabilidad del método seleccionado no solo afecta la capacidad de medición, sino que en un sentido impacta en el factor de riesgo de la trazabilidad y en el otro sentido impacta en el índice de consistencia con el proceso.

Referencias y bibliografía

- ISO 10012. (2003). Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment. Norma internacional. Primera edición 2003-04-15. ISO, International Organization for Standardization. Ginebra, Suiza.
- ISO/IEC 17025. (2005). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Norma internacional. Segunda edición 2005-05-15. ISO, International Organization for Standardization. IEC, International Electrotechnical Commission. Ginebra, Suiza.
- JCRB-8/18. (). Definitions of terms used in the CIPM MRA. CIPM, Comité Internacional de Pesas y Medidas. Sevres, Francia.
- La Guía MetAs. (2002-octubre). Evaluación de Consistencia Metrológica. MetAs & Metrólogos Asociados. Cd. Guzmán, Jalisco, México.
- La Guía MetAs. (2004-abril). Proceso de Confirmación Metrológica Industrial. MetAs & Metrólogos Asociados. Cd. Guzmán, Jalisco, México.
- La Guía MetAs. (2005-marzo). Confirmación Metrológica, Proceso en Laboratorios e Industria. MetAs & Metrólogos Asociados. Cd. Guzmán, Jalisco, México.
- La Guía MetAs. (2005-junio). Métodos de: Medición, Prueba y Calibración. MetAs & Metrólogos Asociados. Cd. Guzmán, Jalisco, México.
- MetAs. (2005-agosto). Semana de la Metrología. Curso: Evaluación y Expresión de Incertidumbres con Estudios r&R. MetAs & Metrólogos Asociados. Cd. Guzmán, Jalisco, México.
- Nava, Héctor. Pezet, Félix. Mendoza, Jorge. Y Hernández, Ignacio. (2001). El sistema internacional de unidades (SI). 2001-mayo. CENAM, Centro Nacional de Metrología. Publicación técnica CNM-MMM-PT-003. Los Cués, Querétaro, México.